



ЛУКОЙЛ

*Всегда в движении!*

Построение  
многопараметрической модели  
недр и интеграция данных из  
различных источников -  
актуальные задачи, методы,  
проблемы

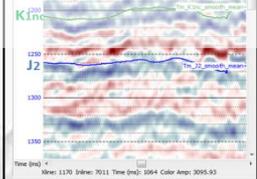
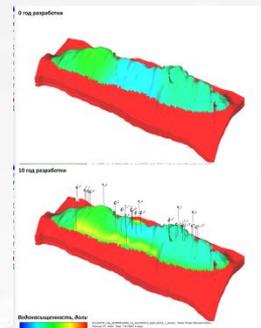
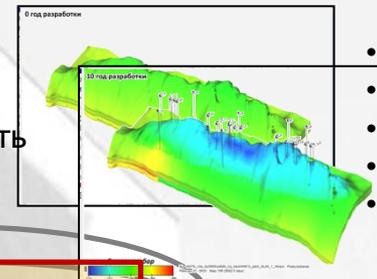
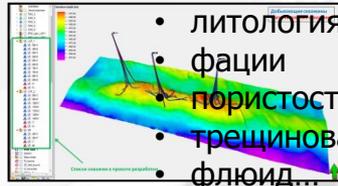
III Балтийская школа-семинар  
«Петрофизическое моделирование осадочных пород».  
РФ, г. Петергоф, 17.09.2014

**И.Н. Керусов**

# Многопараметрическая модель среды



- Структурно-тектонический каркас
- Скорости (кинематика)
- Упругие свойства-динамика
- Поглощение ( $\sim 1/Q$ )
- Анизотропия



**Сейсморазведка**

**Геологическая модель**

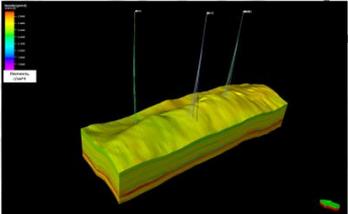
**Гидродинамическое моделирование**

**Многопараметрическая (интегрированная) модель среды**

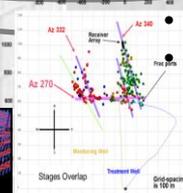
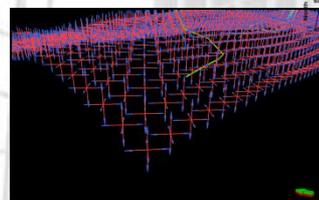
**Геомеханическое моделирование**

**Микросейсмика (ГРП)**

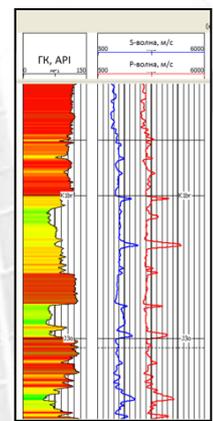
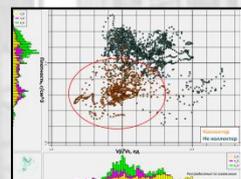
**Скважинные исследования**



- статические упругие параметры
- прочностные параметры
- напряжения
- компакция:
  - резевуара ,
  - покрышки,
  - поверхности



- хрупкость
- напряженность



- Данные ГИС
- Механические тестирования керна
- Петроупругая модель коллектора
- Свойства флюидов
- Замеры давления, напряжения



# Технологические задачи

- Оценка и разведка запасов:
  - Построение структурно-тектонического каркаса
  - Прогнозирование вещественного состава и свойств горных пород
- Оптимальная разработка запасов:
  - гидродинамика...
- Оптимальная проводка скважин, стимулирование резервуара (ГРП...)
  - геомеханика...



- Разномасштабность измерений:
  - Бассейновый анализ - масштаб бассейна десятки и сотни км, размеры объектов сотни метров-километры;
  - Сейсморазведка – длина волны десятки-сотни метров
  - ГИС – метры и десятки сантиметров
  - Керн – нано (томография), микроны (микроскопия), миллиметры и сантиметры
- Разновременность измерений
- Разные локальные задачи измерений
- Разные пространственные точки, линии и схемы измерений
- Разные приборы измерений.....



- Различие методов измерений:
  - Прямые (лабораторные)– керн
  - Косвенные – ГИС, сейсмика
  - Теоретические – аналитические, эмпирические
- Различие физических основ:
  - Динамические параметры
  - Статические параметры  
(модули упругости, пористость, проницаемость, вязкость.....)



- Широкоазимутальная 3Д сейсморастведка
- Многоволновая 3Д-3С (3Д-4С) сейсморастведка
- 4Д сейсморастведка – мониторинг разработки месторождений
- Микросейсмический мониторинг ГРП
- Интерпретационные технологии
  - Геодинамическая интерпретация напряжений
  - Инверсии сейсмические
  - Инверсии 4Д....

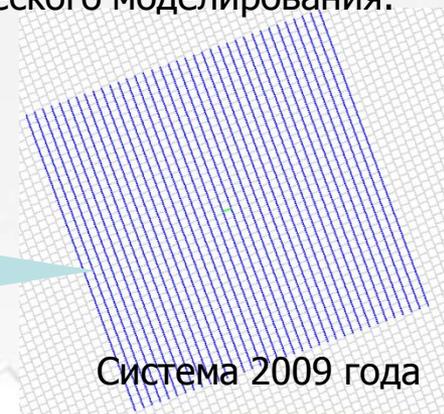
# Широкоазимутальная 3D сейсморазведка. Проектирование.



Перепроектирование схемы наблюдений на основе сейсмогеологического моделирования.

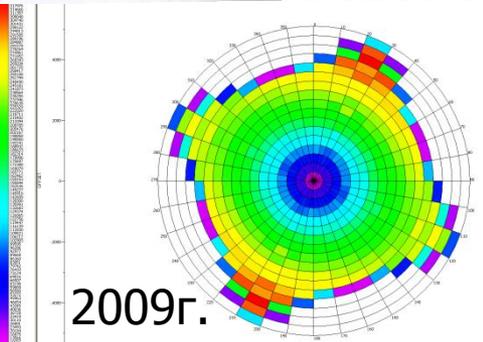
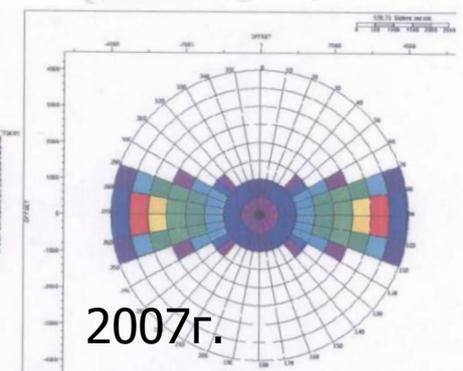
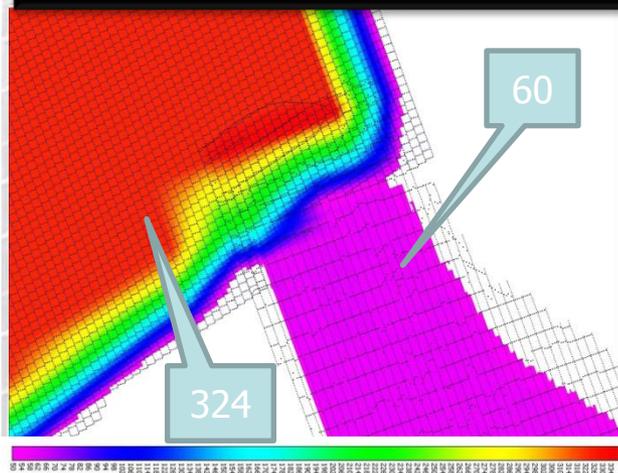


моделирование анизотропии (трещиноватости)



Параметр	2007	2009
Расстояние между ЛП - ЛВ	200 – 450	200 – 200
Расстояние между ПВ - ПП	50 – 50	50 – 50
Число активных линий приёма	10	36
Каналов на ЛП	216	144
<b>Кратность номинальная</b>	<b>60</b>	<b>324</b>
Активных каналов	2160	5184
Вынос, min – max	35 – 5580	35 – 5056

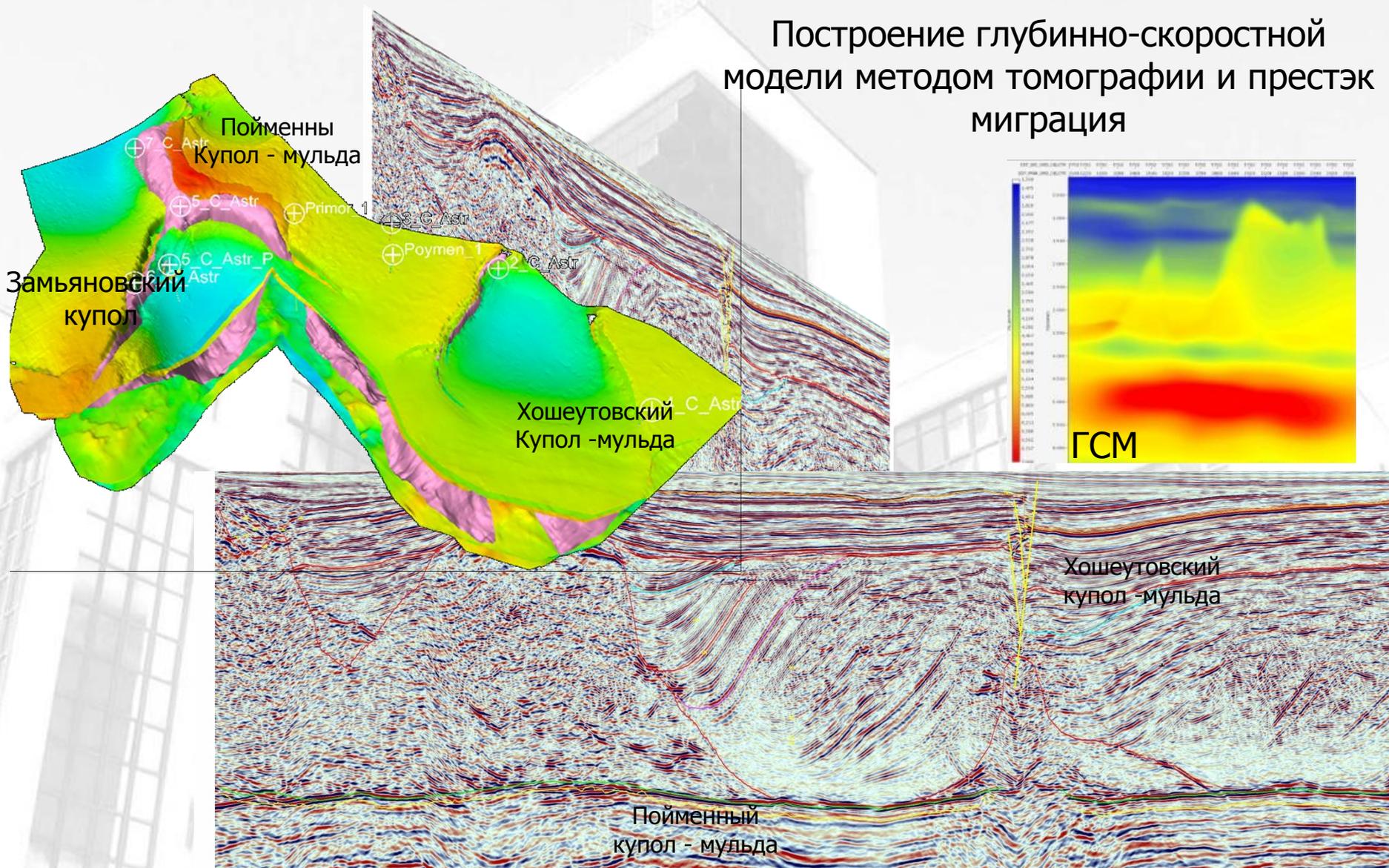
Сопоставление кратности при стыковке площадей 2007 и 2009 ГОДОВ



# Широкоазимутальная 3Д сейсморазведка. Структурная интерпретация.



Построение глубинно-скоростной модели методом томографии и преломляющей миграции

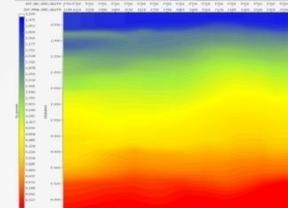
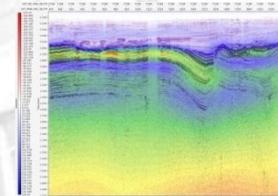
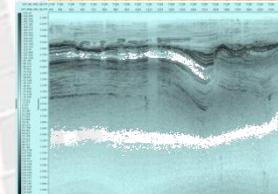




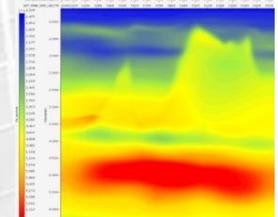
## Новый современный граф обработки: глубинная томография и анизотропная миграция до суммирования.

1. Построение исходной глубинно-скоростной модели
2. Построение исходной VTI анизотропной модели
3. Глубинная миграция до суммирования с новой ГСМ
4. Построение окончательной VTI анизотропной модели
5. Уточнение глубинно-скоростной модели с помощью SIP-Tomography
6. Полная глубинная миграция до суммирования с окончательной глубинно-скоростной моделью и сохранением информации о азимутах в OVT (Offset-Vector-Tile) подборках.
7. Куб после глубинной миграции до суммирования в OVT по сетке 25x25 с финальной глубинно-скоростной анизотропной моделью.

Vp

 $\epsilon$  $\delta$ 

Vp





- Параметры, направленные на повышение качества сейсмического изображения
- Параметры, дополняющие описание геологии и свойств разреза

Слоистость VTI – анизотропия

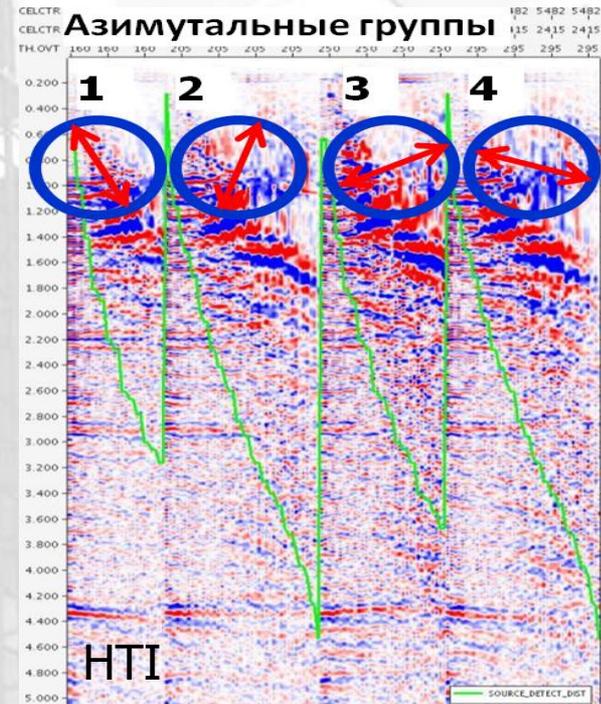
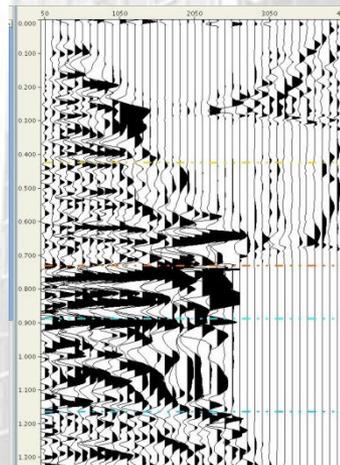
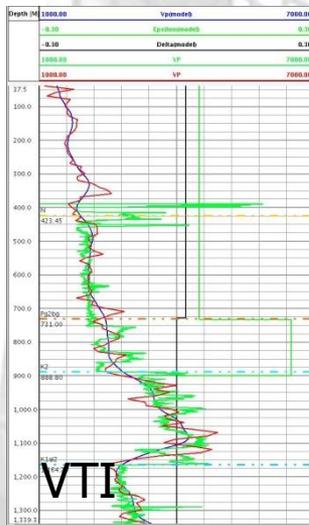
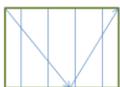


- Изотропно
- Анизотропия +10
- Невязка

Амплитуды отражения от кровли пласта с анизотропией скорости (выносы)

Трещиноватость HTI – анизотропия

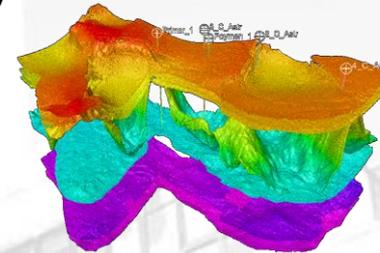
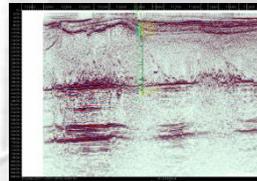
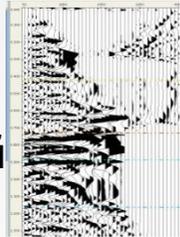
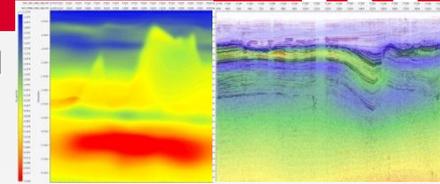
- Изотропно
- Анизотропия -10
- Невязка



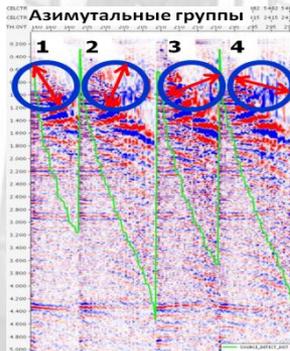
# Широкоазимутальная 3Д сейсморазведка. Параметры кинематической анизотропии



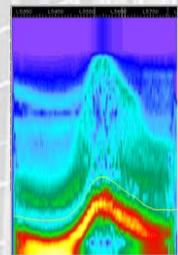
- Глубинно-скоростная модель, увязанная со скважинами
- **Модель параметров VTI анизотропии**
- Сейсмограммы после глубинной миграции OVT, пересчитанные во временную область с распределением азимутов.
- Глубинно-динамический суммарный куб, увязанный со скважинной информацией.



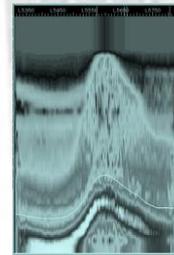
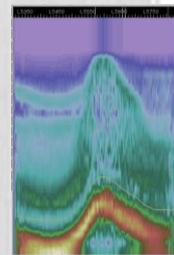
- Параметры NТИ анизотропии (кинематика) – минимальные скорости, максимальные скорости, отношение скоростей, азимутальные параметры



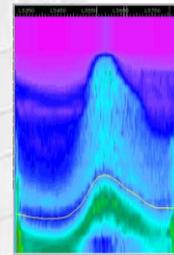
Vp max



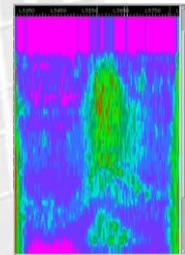
Vp fast Vp slow



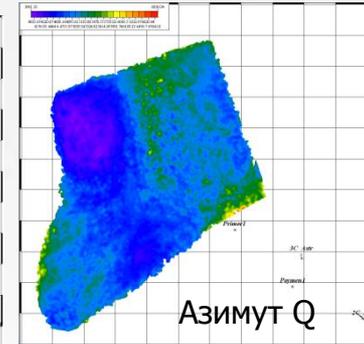
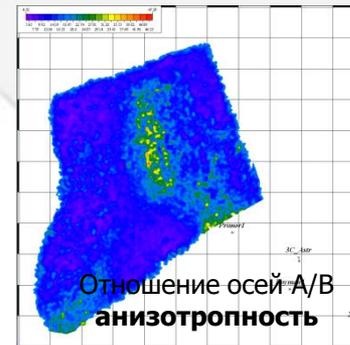
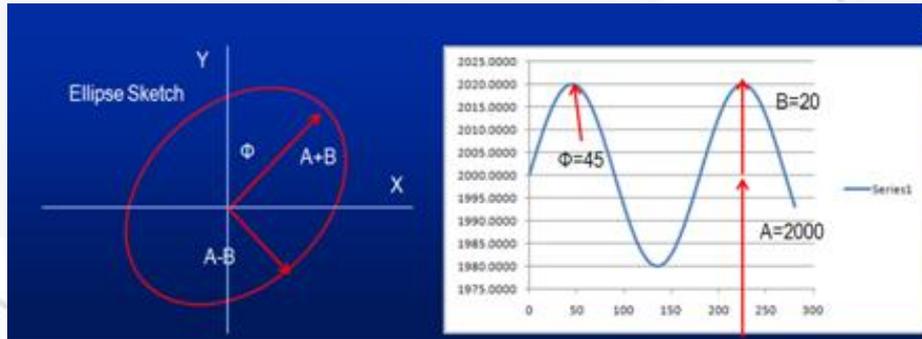
$\frac{Vp\ slow}{Vp\ fast}$



Az Vp fast

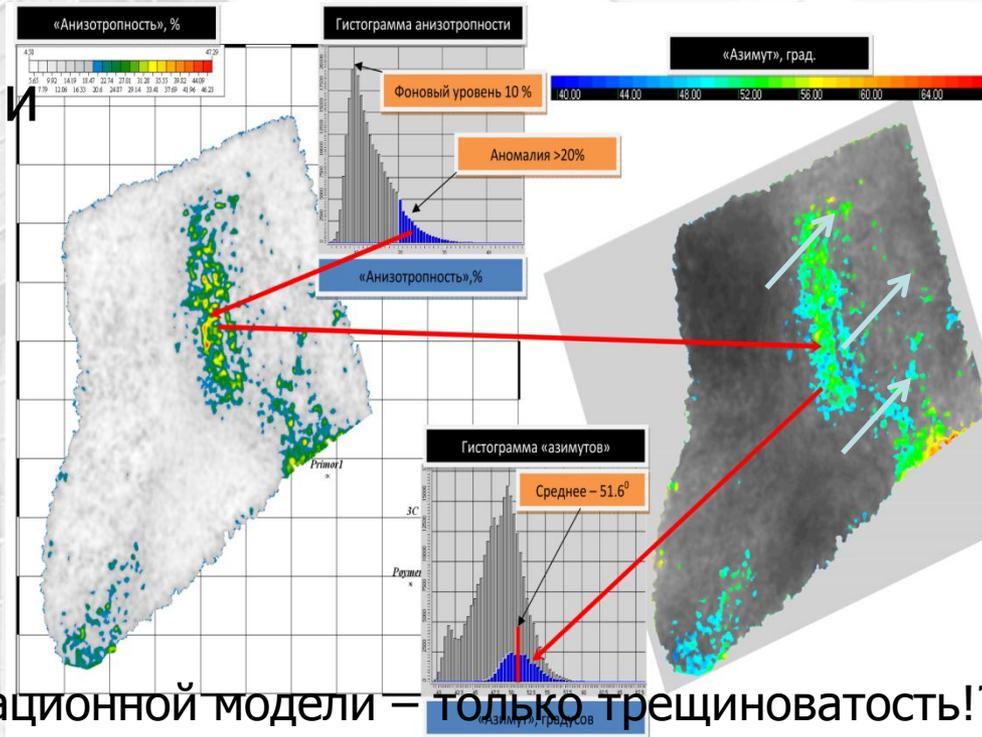


# Широкоазимутальная 3Д сейсморазведка. Параметры динамической NTI анизотропии. AVOaz-анализ.



## Параметры NTI анизотропии

- амплитуда (AVOаз)
- поглощение (Q-фактор)



В интерпретационной модели = только трещиноватость!?



## Было

- Скорость  $V_p$
- $Q$

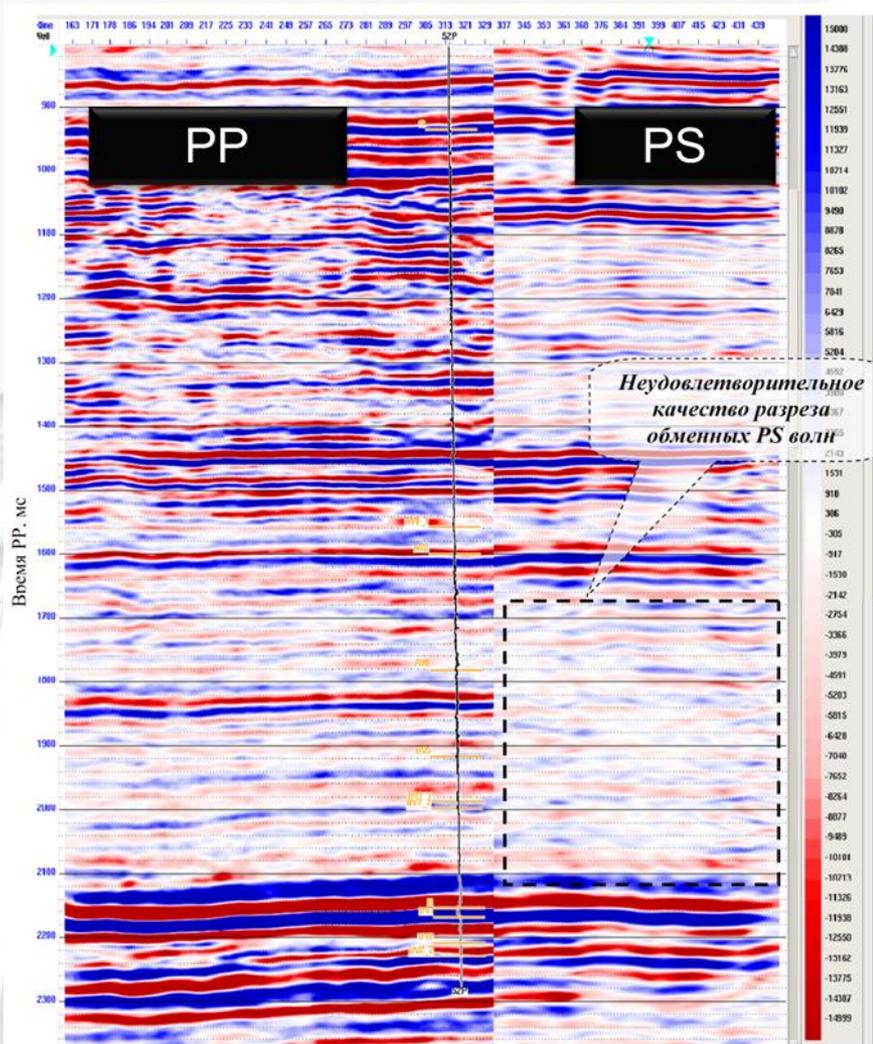
## Стало

- $V_p, V_s, \rho$  – синхронная инверсия
- $\varepsilon$
- $\delta$
- Аз-Скорость  $V_p$  быстрая
- Аз-Скорость  $V_p$  медленная
- Аз-Скорость  $V_p$  макс.
- Аз-азимут быстрой/медленной
- Аз-Интенсивность анизотропии



ЛУКОЙЛ

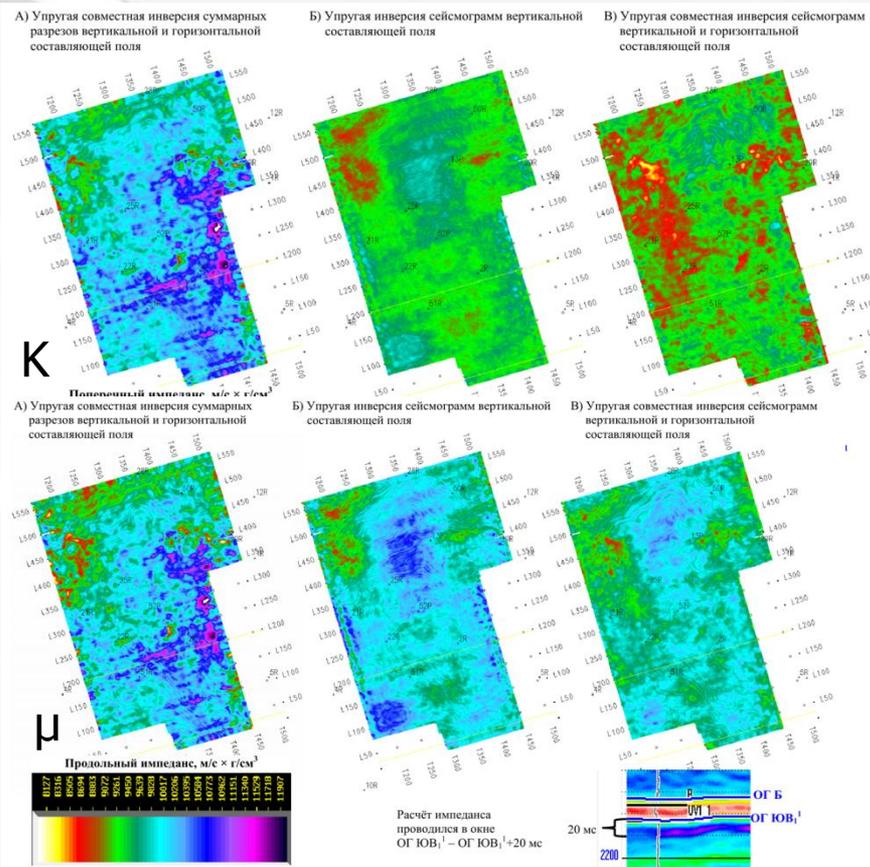
# Многоволновая 3Д-ЗС сейсморазведка



После частотного выравнивания разрезы отражённых PP и обменных PS волн стали сопоставимы друг с другом

## Результаты инверсии:

По сумме **синхронная по продольной** **синхронная по продольной и обменной**



Мирошниченко Д.Е. и др. 2011.

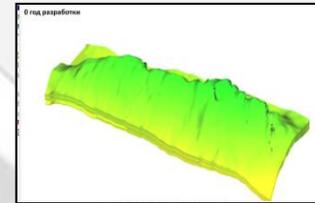
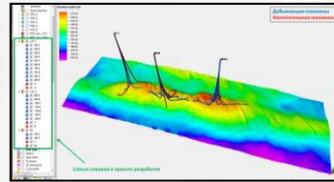


ЛУКОЙЛ

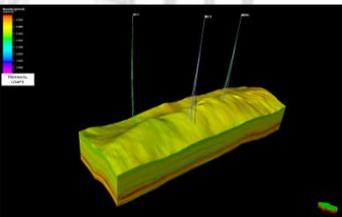
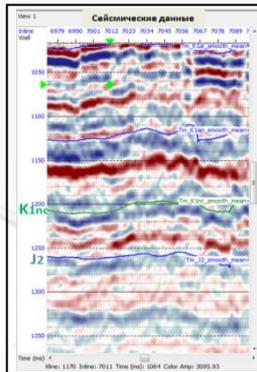
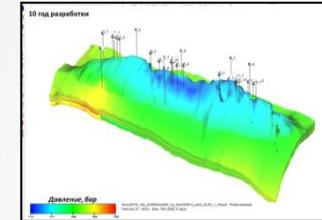
# 4Д сейсморазведка – мониторинг разработки месторождений



- Структурно-тектонический каркас
  - Сейсмическая инверсия
  - Кубы упругих свойств
  - Скоростная модель

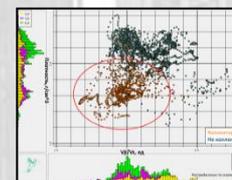
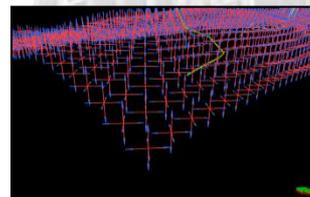


- Модели изменения давления
- Модели изменения насыщения



- Модели статических упругих параметров
  - Модели прочностных параметров
  - Дизайн траектории скважин

Аристархов А.В. и др. 2014.



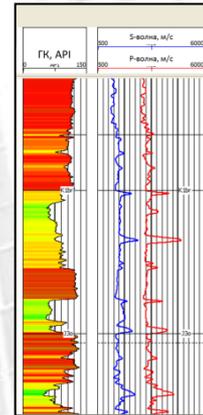
Сейсморазведка

Гидродинамическое моделирование

Геомеханическое моделирование

Скважинные исследования

Сейсмическое моделирование эффектов разработки



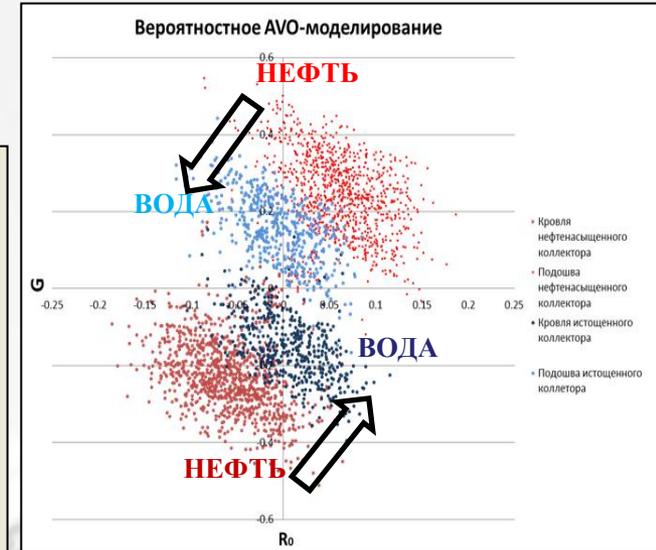
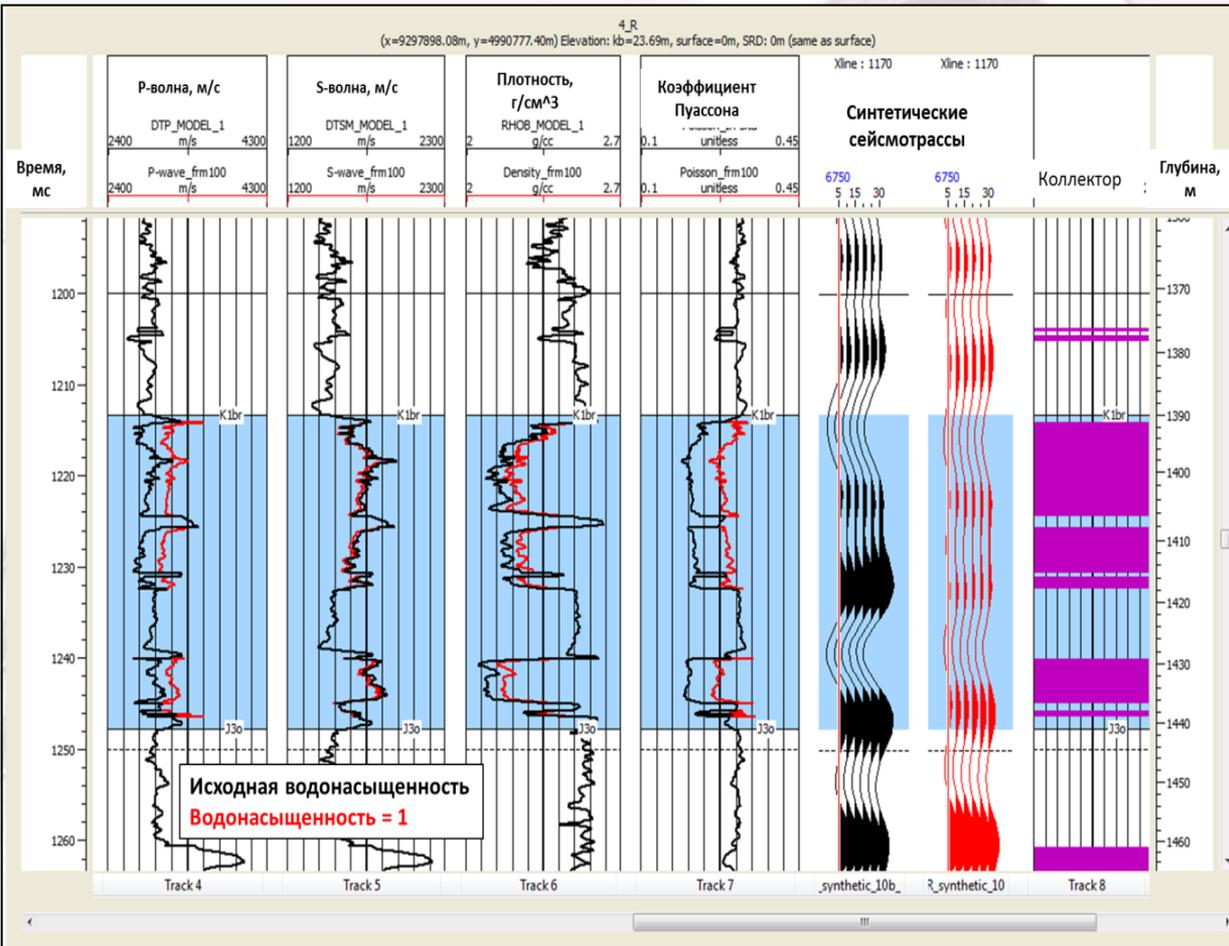
- Данные ГИС
- Механические тестирования керна
- Петроупругая модель коллектора
  - Свойства флюидов
- Замеры давления, напряжения



# 4Д сейсморазведка Влияние изменения водонасыщенности на упругие параметры



Выполнено флюидозамещения по Гасману (вытеснение нефти водой) и сейсмическое AVO-моделирование



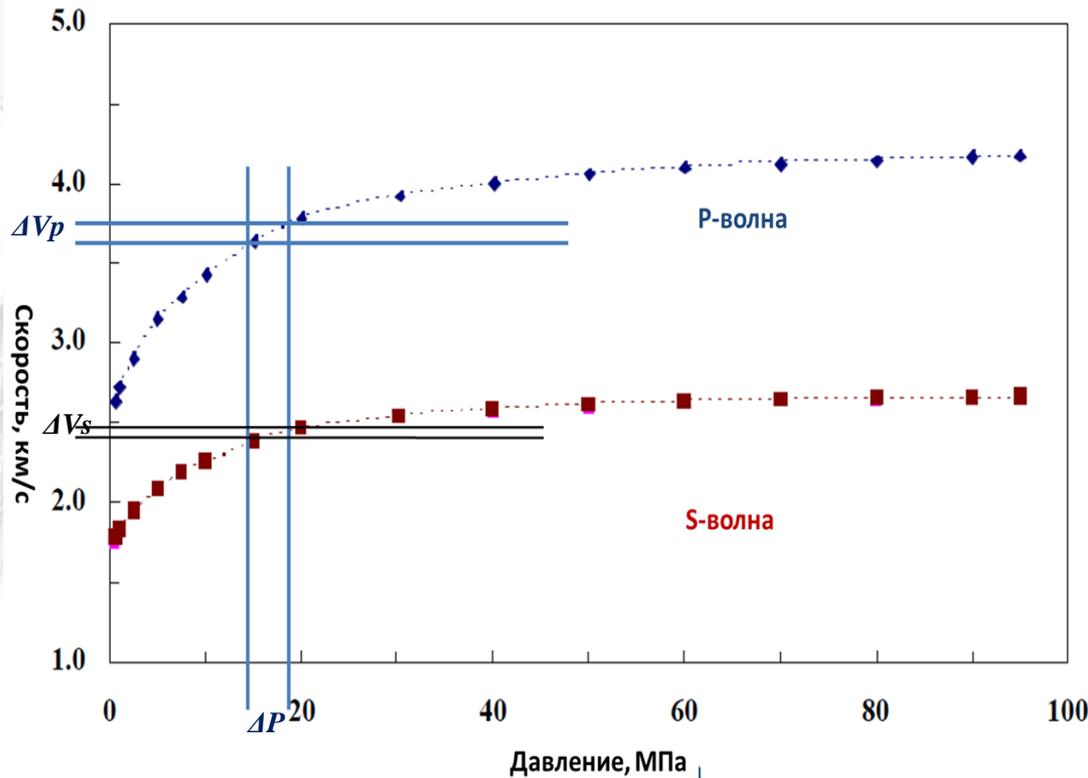
При замещении нефти водой:

- происходит рост значений скорости распространения продольных волн, плотности и отношения скоростей  $V_p/V_s$
- интенсивность отражений от кровли и подошвы значительно падает, не меняя своей полярности
- возможно исчезновение AVO-аномалии III класса при ее наличии

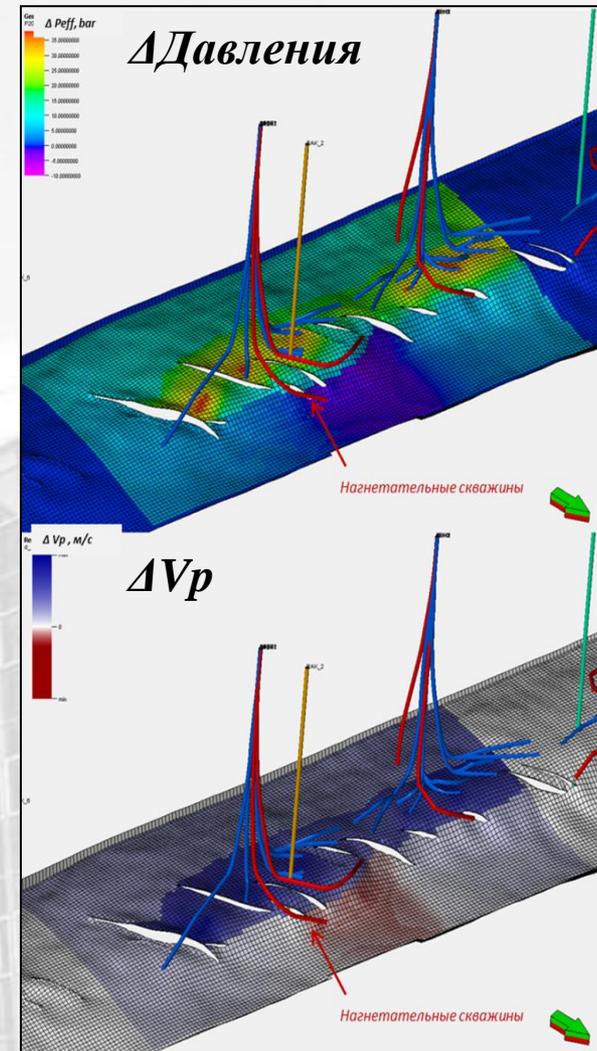
# 4D сейсморазведка Влияние изменения давления на упругие параметры



*Зависимость скорости распространения упругих волн в образцах песчаника от изменения эффективного давления по результатам механических тестирований керна (New England Research)*



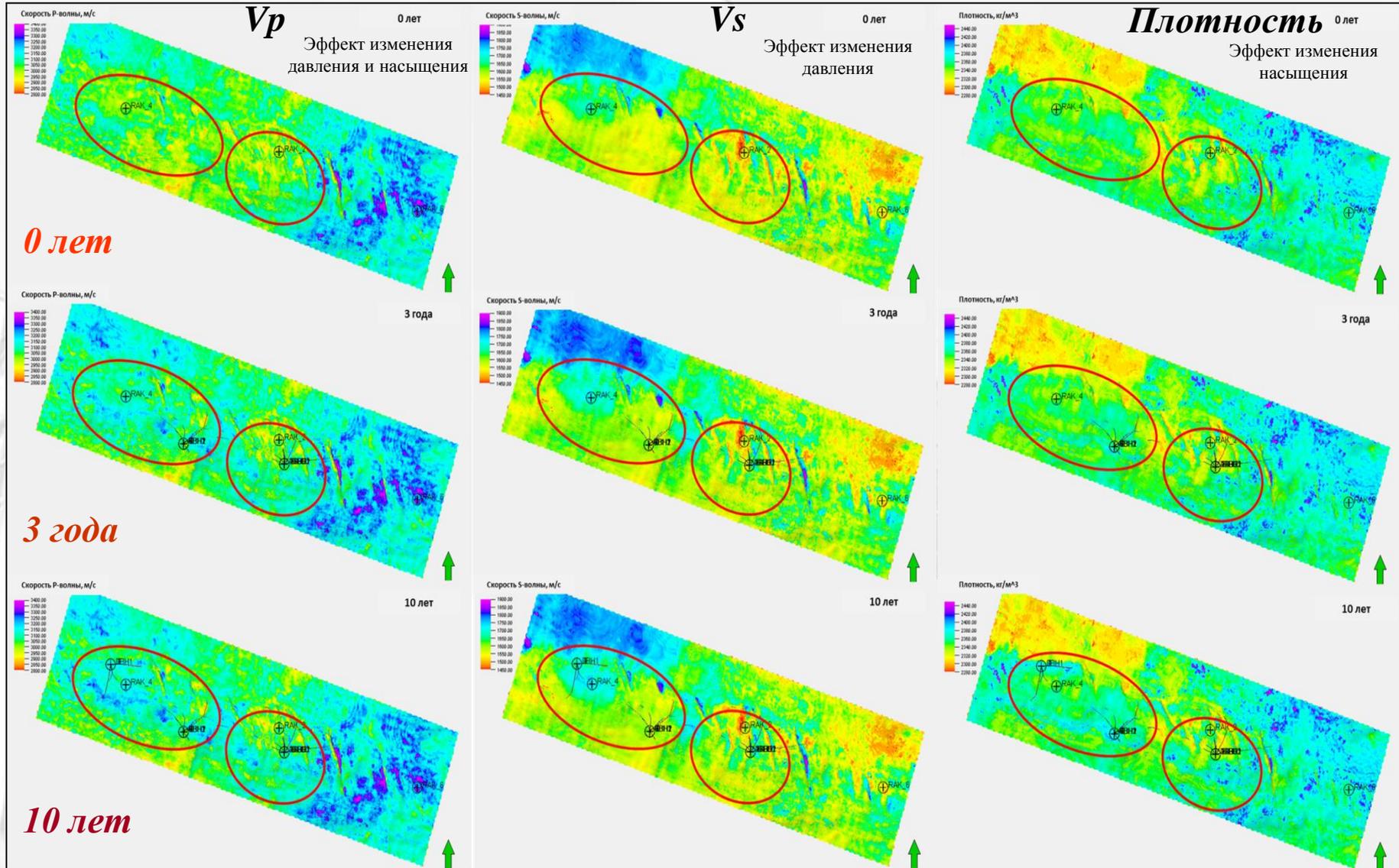
*4D модели изменения давления и соответствующего ему изменения скорости  $V_p$*



# 4Д сейсморазведка - модели упругих свойств для разных этапов разработки



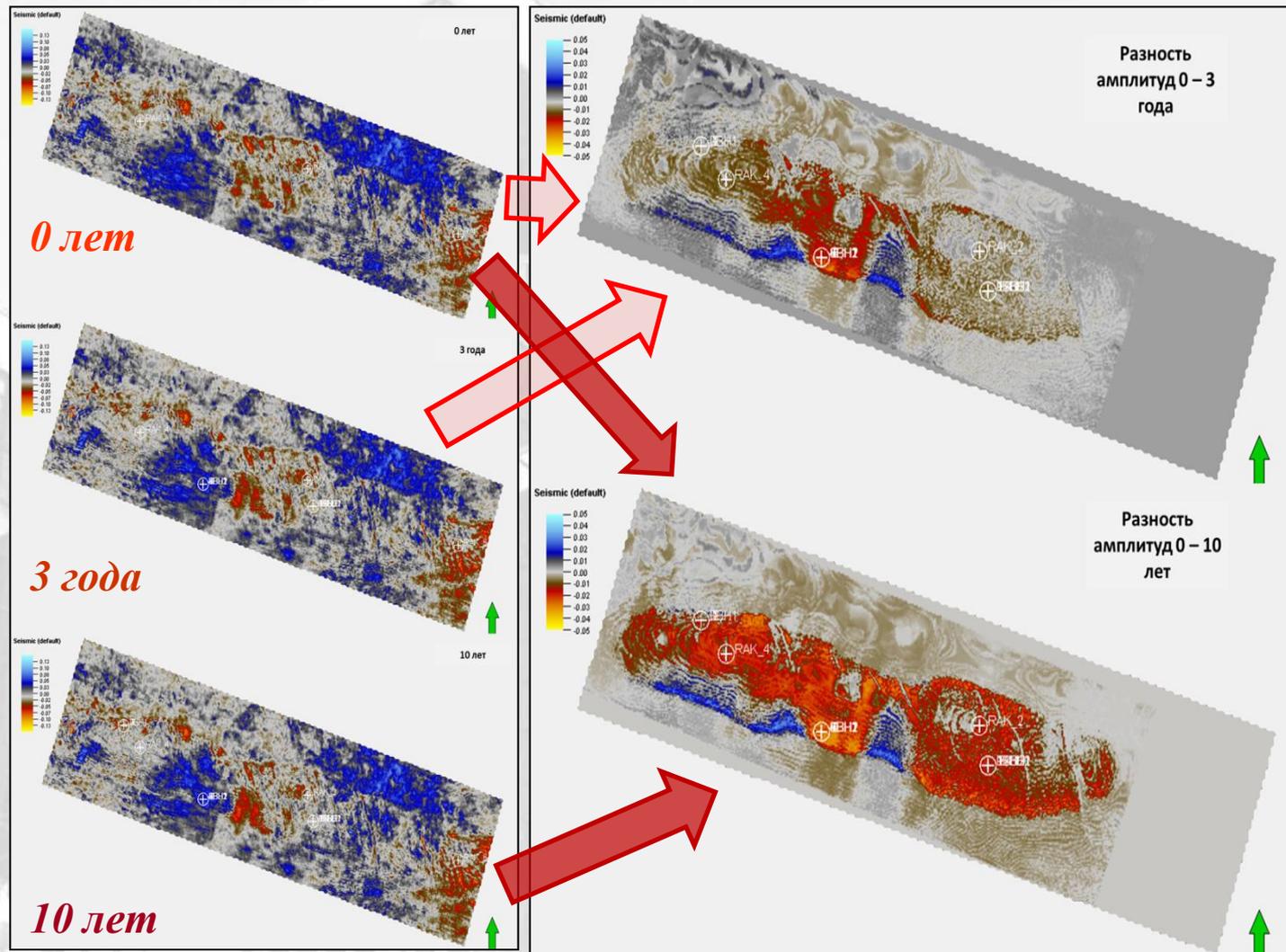
Срезы 4D моделей по кровле неокомского интервала



# 4Д сейсморазведка Моделирование эффектов разработки



Срезы синтетических сейсмических кубов по кровле неокомского интервала

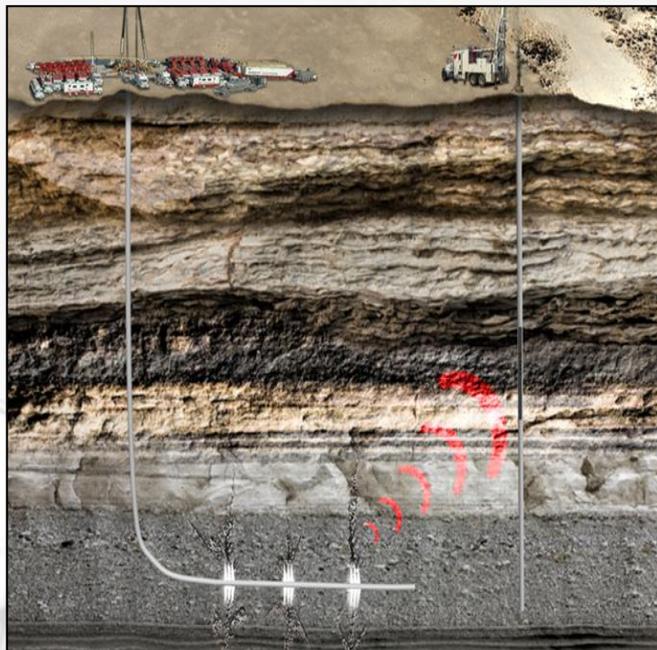


- По изменению амплитуд можно выделить зоны влияния как добывающих, так и нагнетательных скважин
- Зонам, подвергнутым влиянию увеличения давления от нагнетательных скважин, соответствуют **положительные значения** амплитуд на срезах разности амплитуд базовой съемки и мониторинговой
- Зонам, подвергнутым влиянию обводнения и падения давления вблизи добывающих скважин — **отрицательные значения**



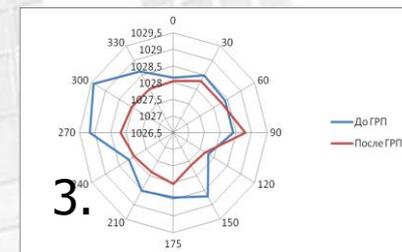
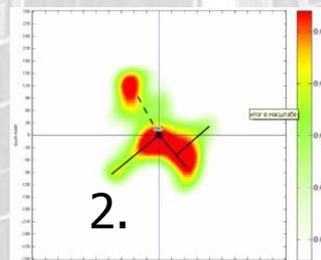
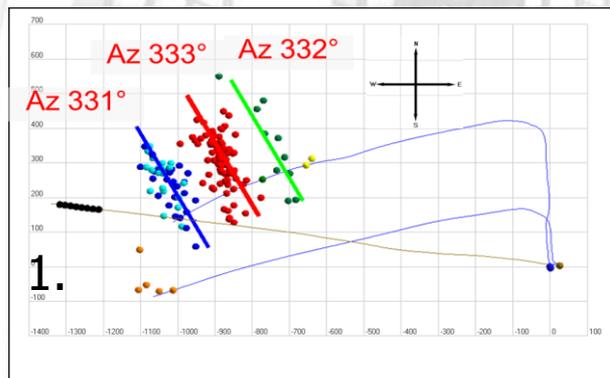
ЛУКОЙЛ

# Микросейсмический мониторинг ГРП



Принципиально разные методические и физические основы мониторинга ГРП

1. Микросейсмический мониторинг ГРП - локация источников микросейсм ГРП в реальном времени по наблюдениям в скважине.
2. Мониторинг ГРП в полях динамических характеристик микросейсм сейсмического волнового поля по наблюдениям с поверхности.
3. Мониторинг ГРП по кинематическим параметрам среды с помощью наблюдений в скважине и возбуждением на поверхности.

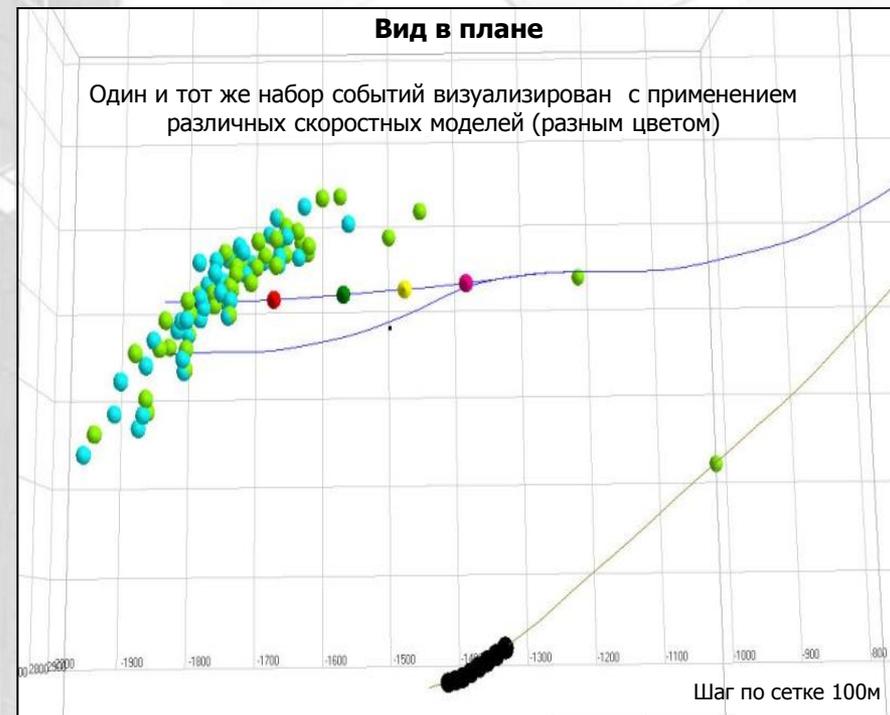
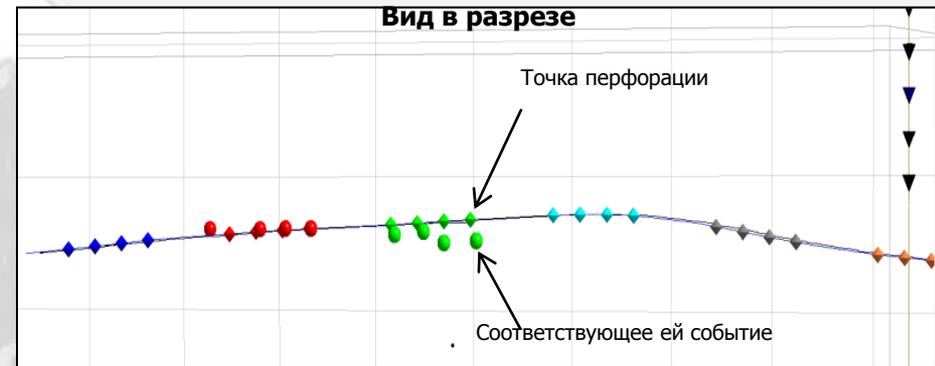




Калибровка скоростной модели происходит с использованием событий, время и место образование которых заранее известно:

- Перфорации
- Удары шаров о седла ☺
- Ранние события (около скважины)

*События будут двигаться в сторону к и от скважины при изменении скоростной модели*





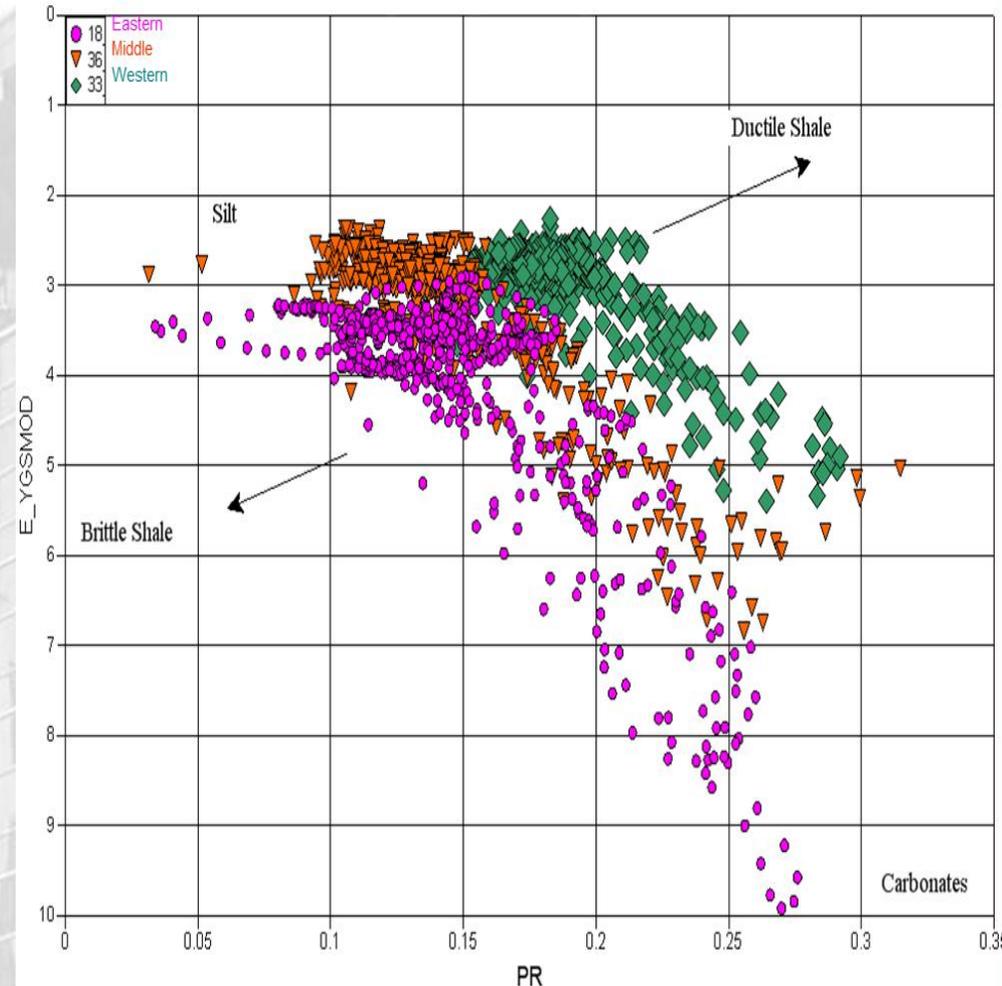
ЛУКОЙЛ

# Параметры среды при мониторинге ГРП



Факторы (параметры?), влияющие на наличие хорошего сигнала при МСМ:

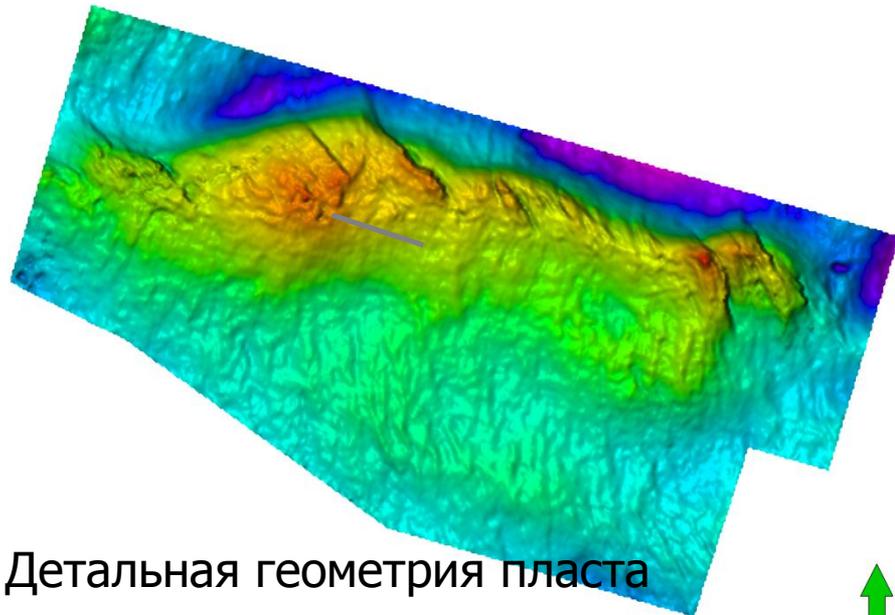
- **хрупкость**
- возраст породы
- глубина залегания
- содержание известковых пород
- глинистость
- **напряжение в пласте**
- тип заканчивания скважины при ГРП
- скорость закачки жидкости в пласт
  
- Параметры модели:
  - ГСМ
  - Анизотропная модель



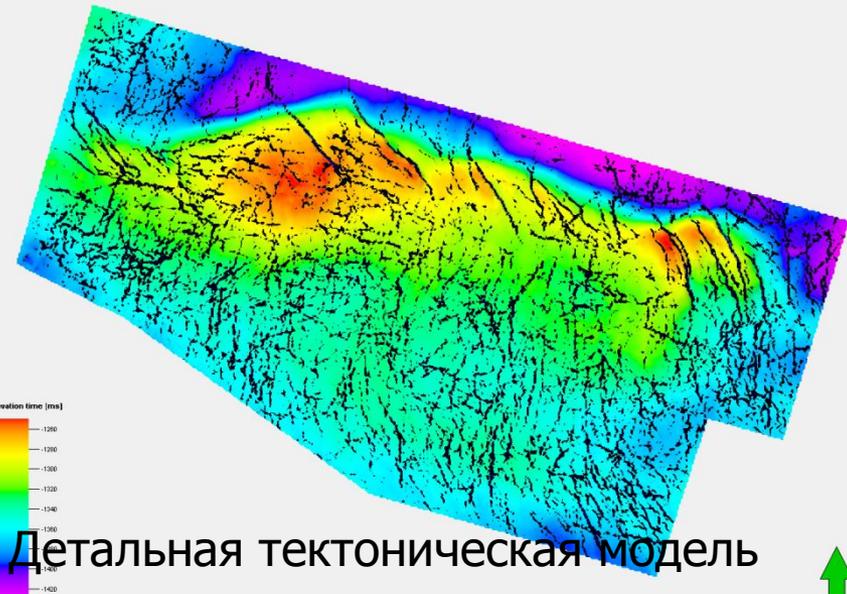


ЛУКОЙЛ

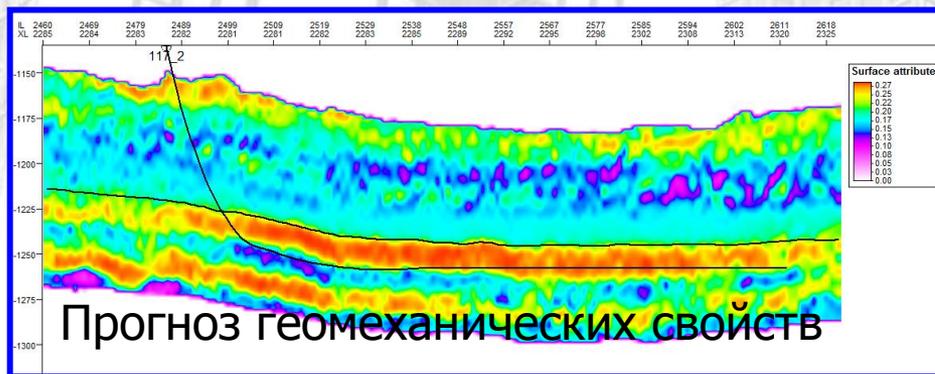
# Геомеханическое моделирование – прикладные задачи



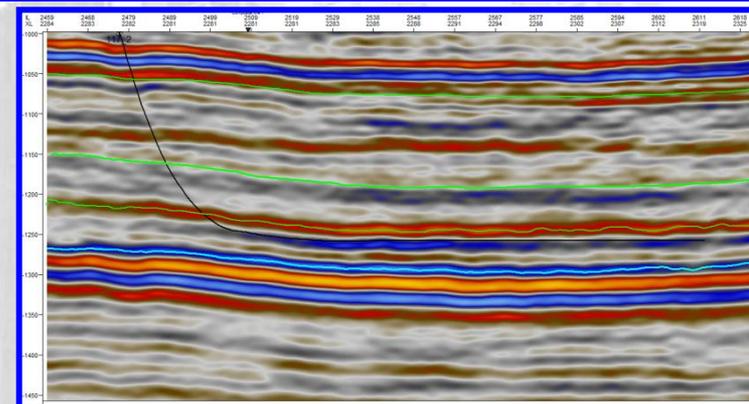
Детальная геометрия пласта



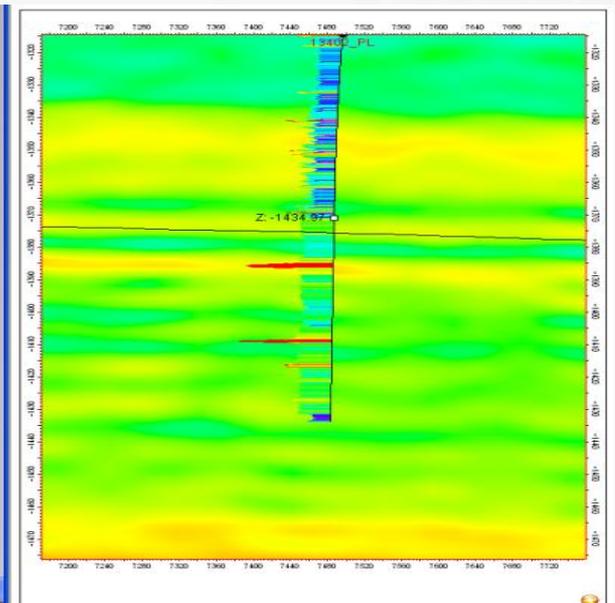
Детальная тектоническая модель



Прогноз геомеханических свойств



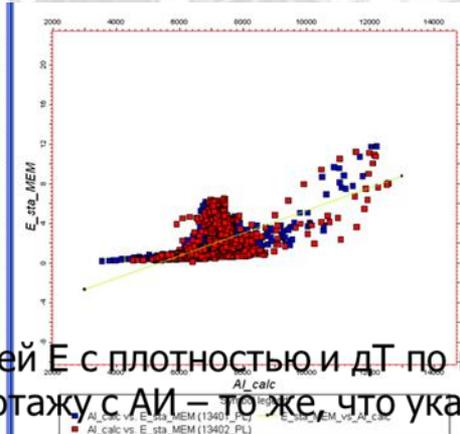
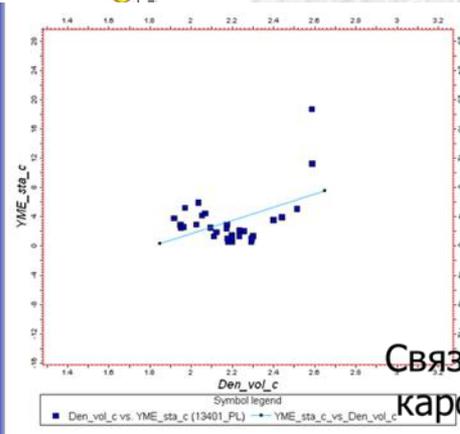
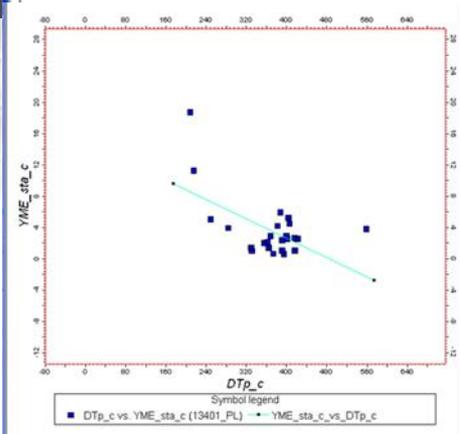
Обеспечение проводки горизонтальных скважин



Распространение механических свойств с использованием кубов ***динамических*** модулей упругости в качестве тренда.

- Были рассчитаны модели:
- ***Статического*** модуля Юнга
  - Коэффициента Пуассона
  - Прочности при одноосном сжатии
  - Угла внутреннего трения
  - Плотности
  - Прочности при растяжении

Эти кубы используются для расчета напряженного состояния

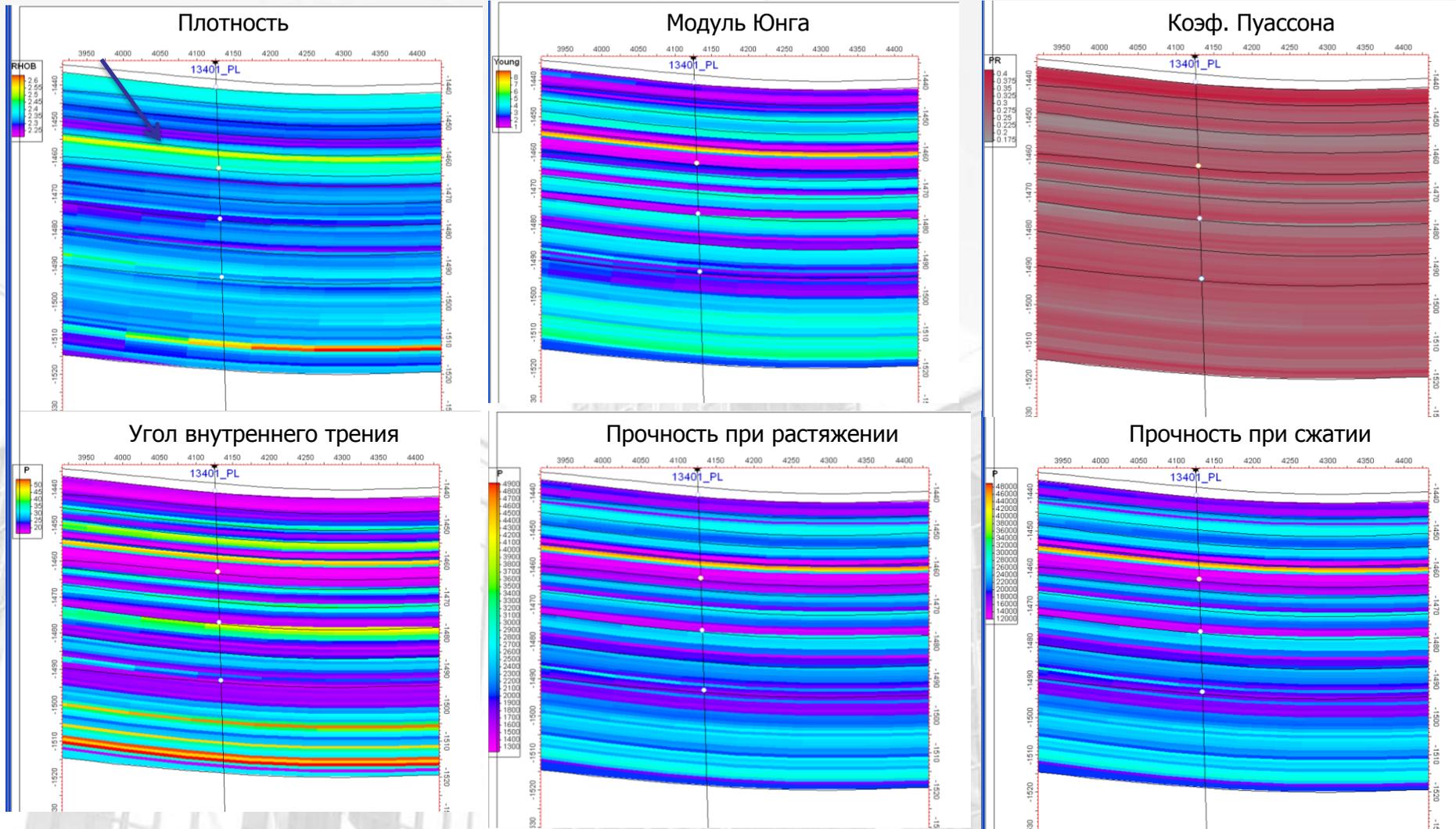


Связей E с плотностью и дТ по керну практически нет, по каротажу с AI – то же, что указывает на необходимость использования реальных значений

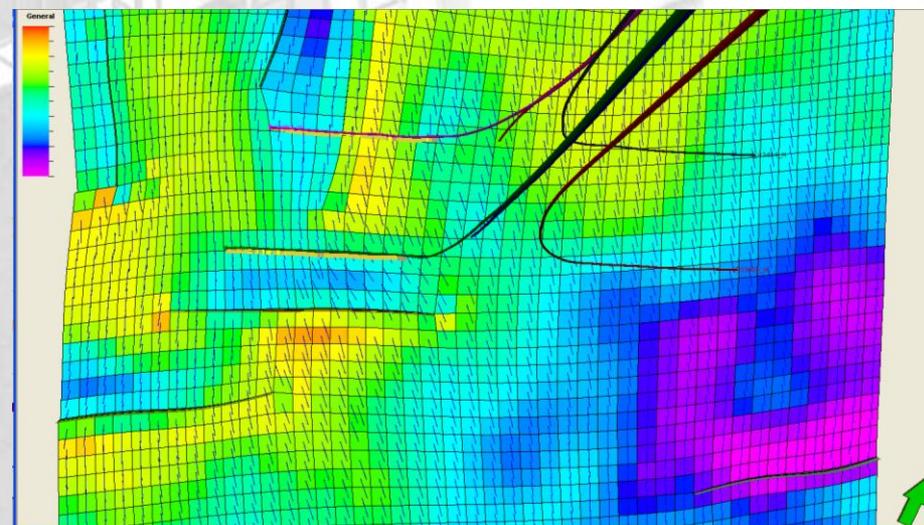
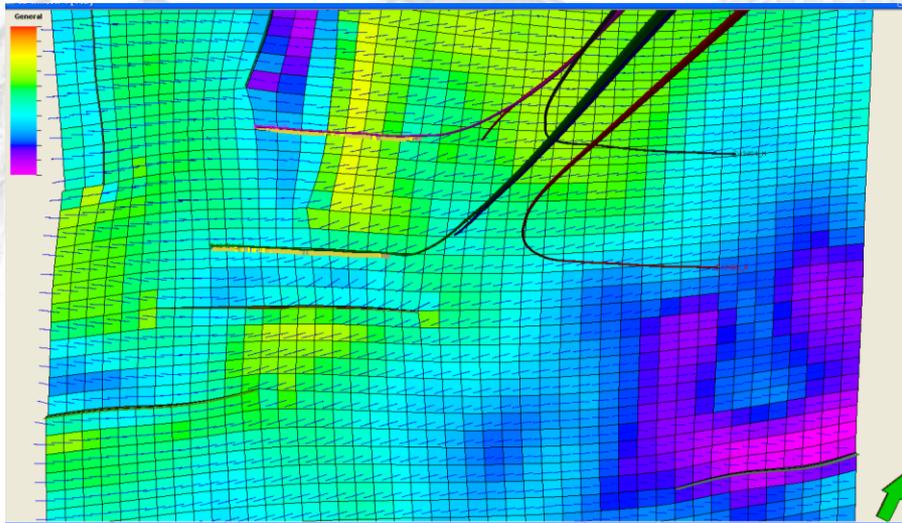
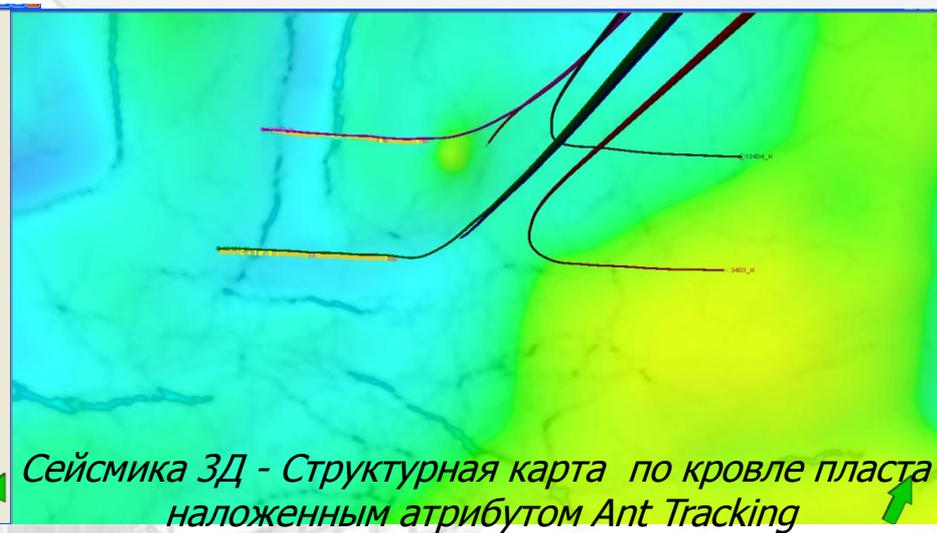
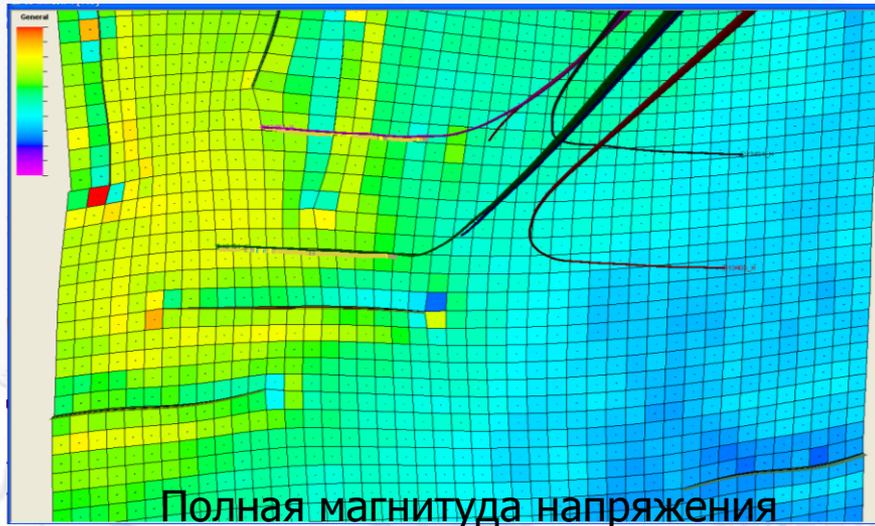
Проблема связи статических и динамических модулей упругости

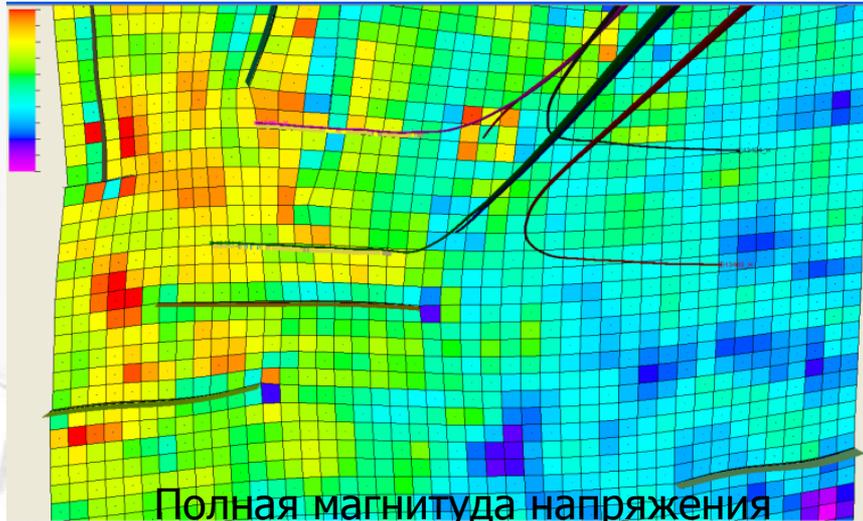
# Геомеханическая модель. Модели напряженного состояния

## Входные данные

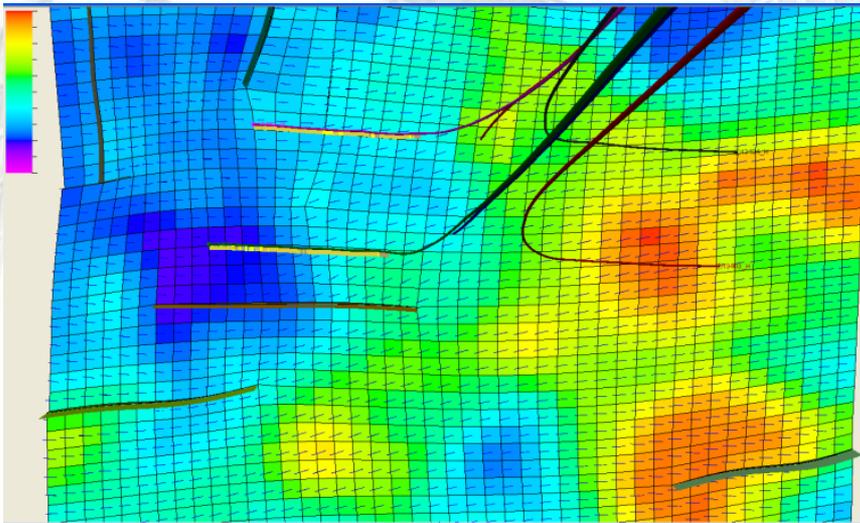


# Геомеханическая модель. Модели напряженного состояния

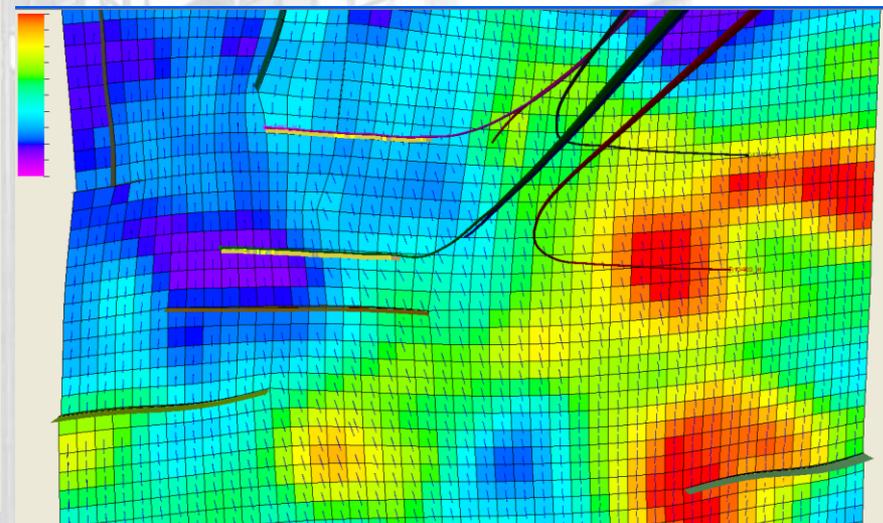




Сейсмика 3Д - Структурная карта по подошве пласта наложенным атрибутом Ant Tracking



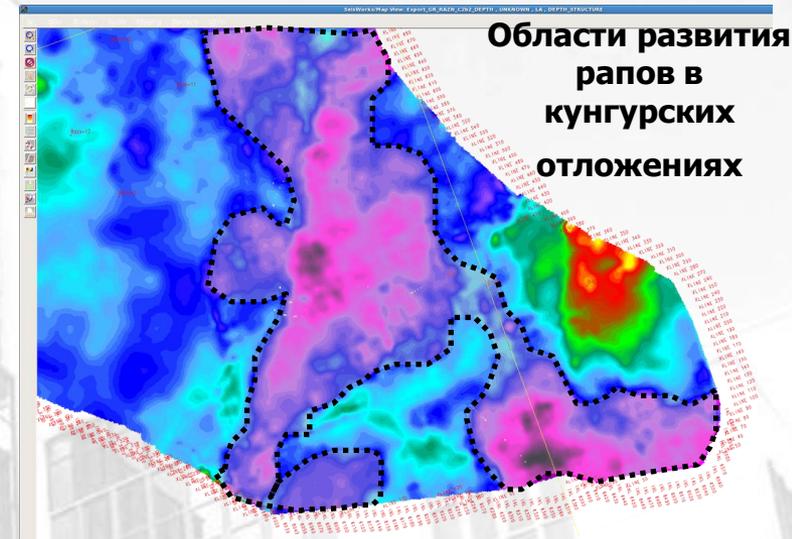
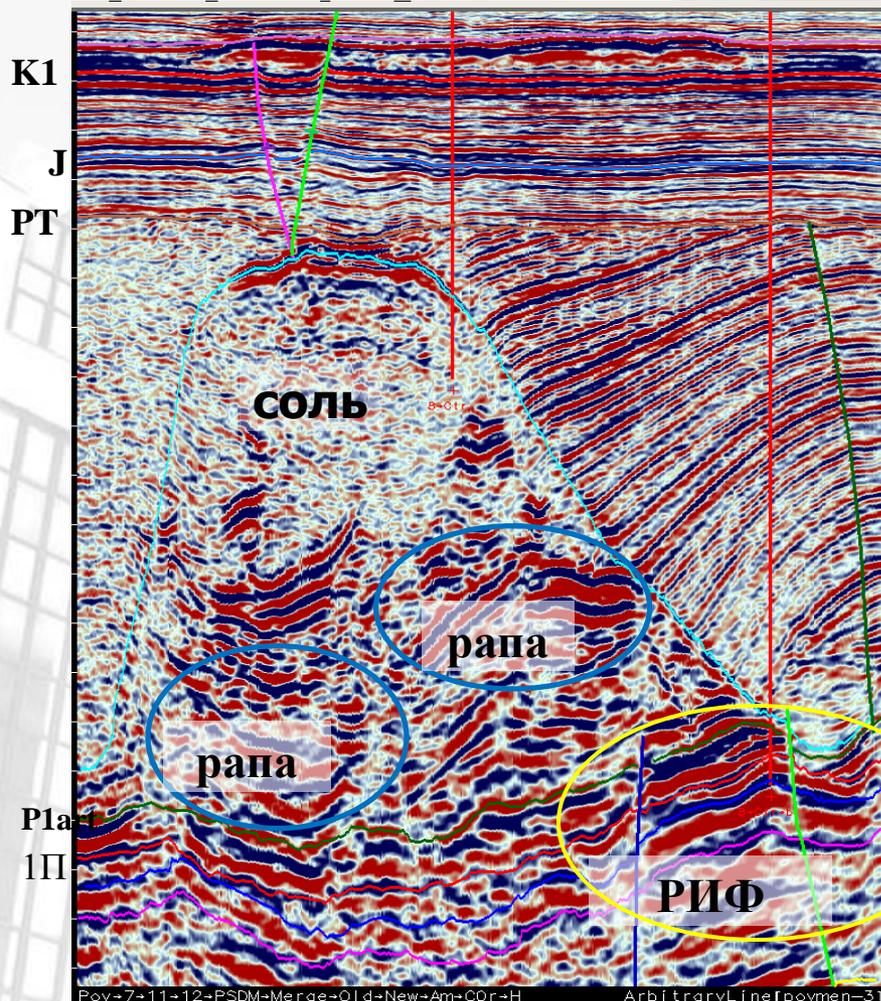
Минимального напряжения



Максимального напряжения



предполагаемые интервалы развития  
рапоносных отложений

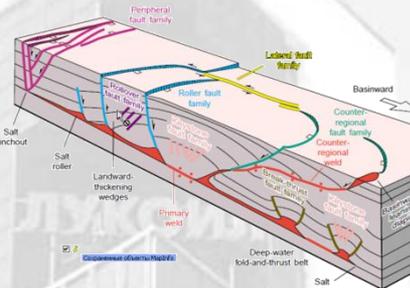
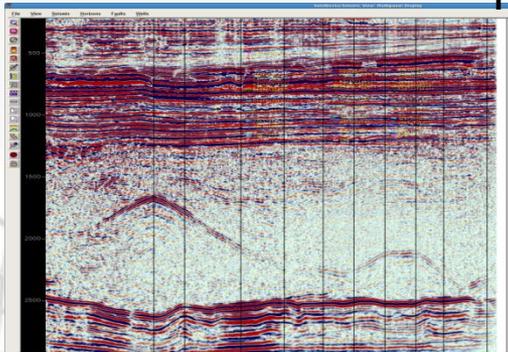


В соленосной толще Южно-Аксарайского купола, ожидается присутствие рапоносных линз. Признаками волнового поля, характеризующим рапоносные линзы, являются: понижение интервальных скоростей соленосных толщ (Винт=2500-3000м/сек.), возрастание амплитуд и понижение частоты отражений внутри соляных отложений. Интервалы развития рапоносных линз являются причинами осложнений при бурении в виде межколонных перетоков, смятия колонн.

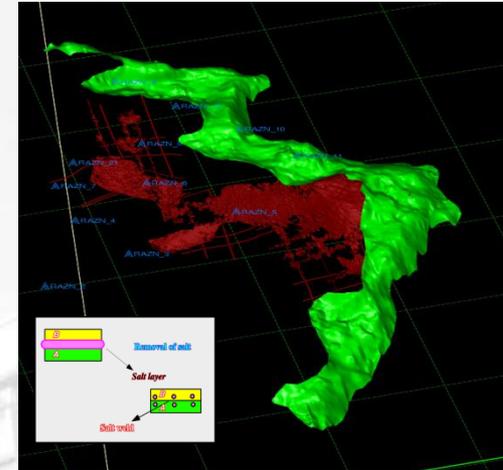
Попова Л.А. и др., 2013



Соляные швы (велды – weld): распознавание в волновом поле, картирование включение в геологические и параметрические модели, новые поисковые объекты.

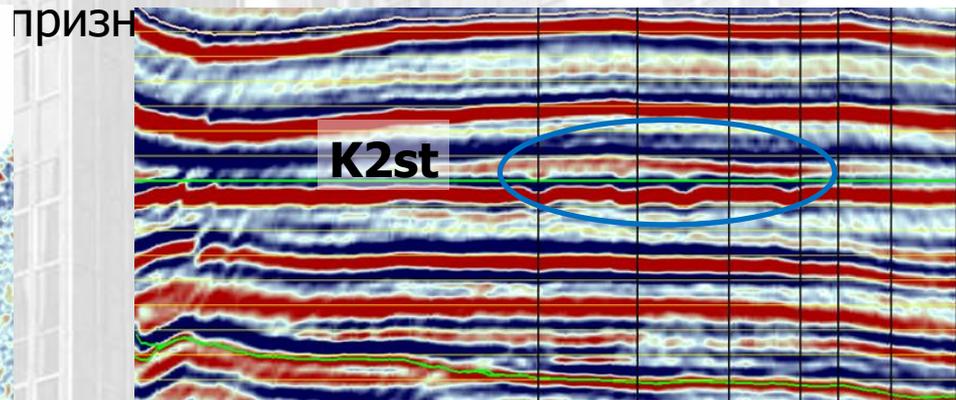
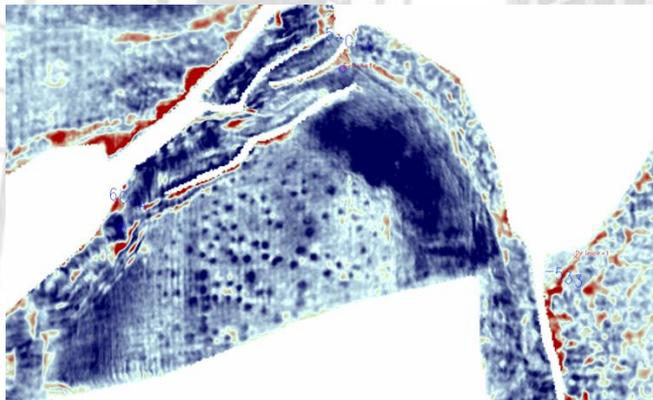


«salt weld»



*ВЕЛД (weld)* – контакт между двумя стратиграфическими комплексами ранее разделенными солью (Джексон и Крамез, 1989г)

«Палеопокмарки» - индикаторы времени нефтегазогенерации и миграции УВ (интервал сантонских отложений), важный поисковый признак



# Геомеханика для проводки скважин – геодинамическая структурная интерпретация сейсмических данных



flanks, with a transition in between.

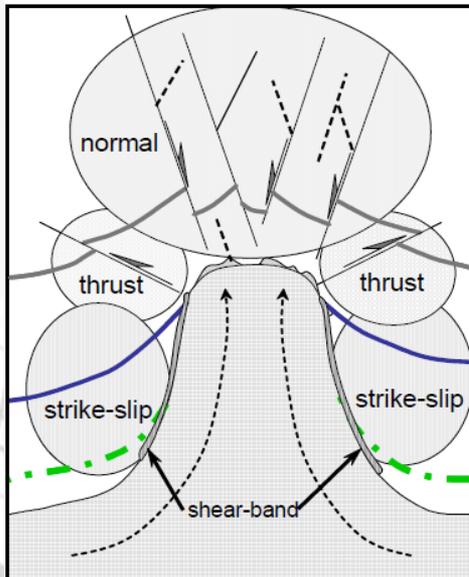


Figure 8: Generalized Stress Regimes around a Dome

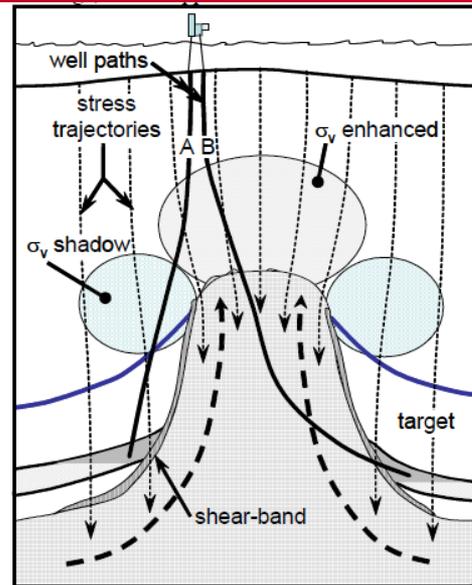


Figure 9: Principal Stress Trajectories around a Dome

In th

Генерализованный режим (а) и принципиальные траектории (б) напряжений в окрестностях соляного купола

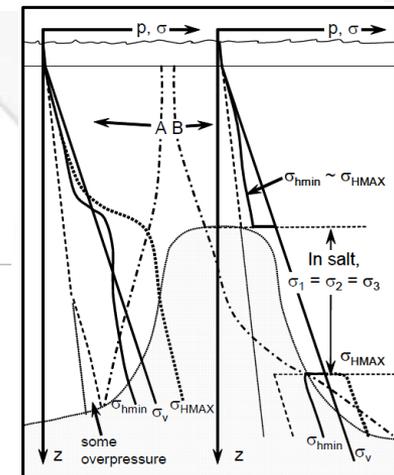
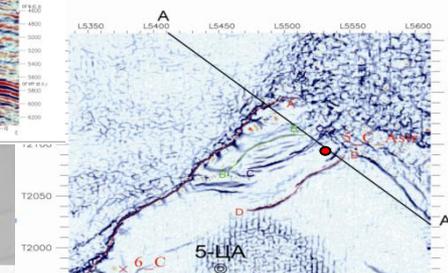
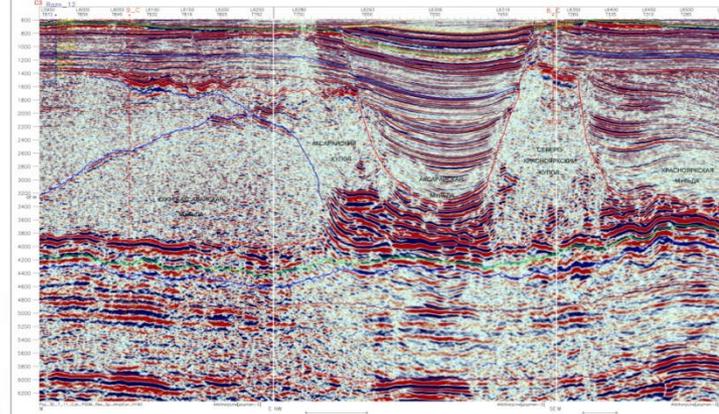
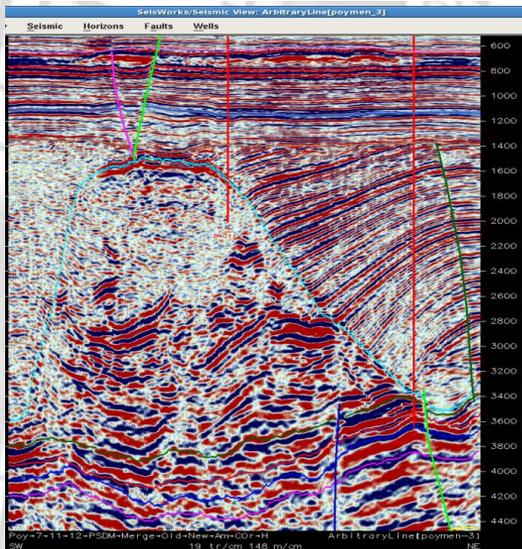


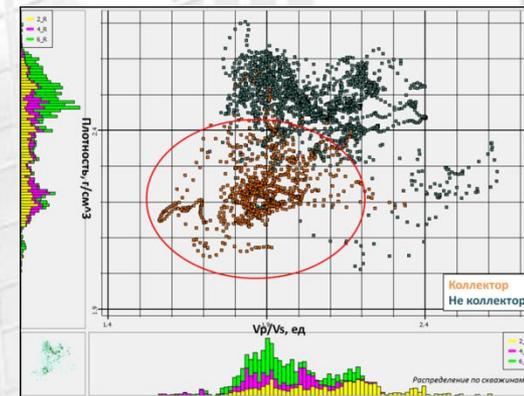
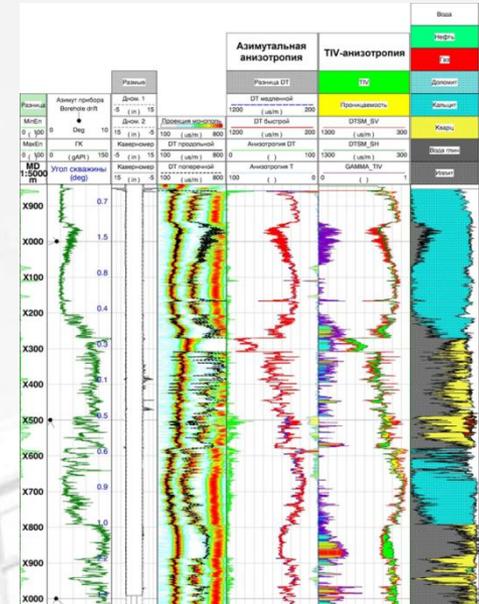
Figure 10: Stress Plots for Different Well Trajectories

атрибута Максимальная кривизна (Maximum Curvature), глубина среза 900





- Sonic Scanner
- Комплекс ГИС (FMI, ЯМР.....)
- Керн
  - Лаборатория
  - Томография-цифровая порода
- Rock Physics
- Петроупругое моделирование





- Разномасштабность измерений:
  - Бассейновый анализ - масштаб бассейна десятки и сотни км, размеры объектов сотни метров-километры;
  - Сейсморазведка – длина волны десятки-сотни метров
  - ГИС – метры и десятки сантиметров
  - Керн – нано (томография), микроны (микроскопия), миллиметры и сантиметры
- Разновременность измерений
- Разные локальные задачи измерений
- Разные пространственные точки, линии и схемы измерений
- Разные приборы измерений.....



- Различие методов измерений:
  - Прямые (лабораторные)– керн
  - Косвенные – ГИС, сейсмика
  - Теоретические – аналитические, эмпирические
- Различие физических основ:
  - Динамические параметры
  - Статические параметры  
(модули упругости, пористость, проницаемость, вязкость.....)



- Проблема («вызов»):  
несогласованность (часто противоречивость)  
разных моделей
- Стратегия преодоления:  
разработка технологий **синхронного**  
построения многопараметрической модели

ЛУКОЙЛ

**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ**



**ЛУКОЙЛ**